

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-078575

(43)Date of publication of application : 18.03.1994

(51)Int.Cl.

H02P 5/00

(21)Application number : 04-114606

(71)Applicant : SANYO DENKI CO LTD

(22)Date of filing : 07.05.1992

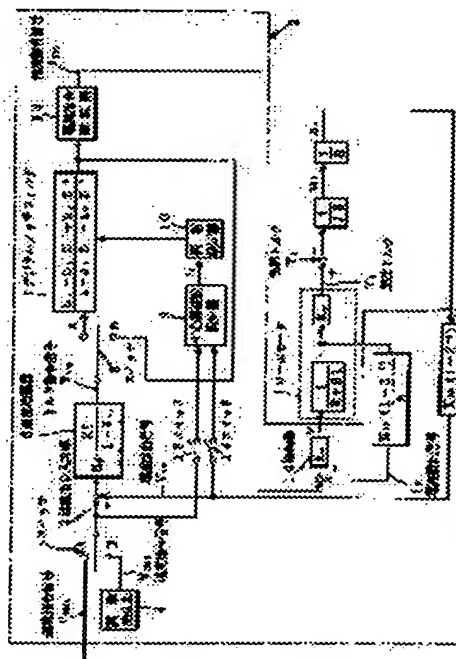
(72)Inventor : KIKUCHI KEIGO
NAGATA SHIN
KOSUGE YASUYUKI

(54) METHOD AND APPARATUS FOR AUTOMATICALLY REGULATING NOTCH FILTER OF SERVO SYSTEM

(57)Abstract:

PURPOSE: To automatically set a coefficient of a digital notch filter for removing a vibration of a servo system in a short time.

CONSTITUTION: A digital notch filter 7 formed of a modeled discrete transfer function is isolated from a servo system, a measuring command signal VCM 2 is input from a functional generator 4 to the servo system to be tested. An operation signal to be output from the system when the system is tested by a central frequency setter 9 is frequency-analyzed. An unnecessary frequency component out of a speed loop response frequency band of a signal to be assembled in the filter is detected from the analyzed result to decide the unnecessary frequency component as a central frequency. Then, coefficients of discrete transfer function of the filter 7 are obtained from a coefficient setter 10 based on the relationship between the decided central frequency and an acutance, and substituted for the function.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-78575

(43)公開日 平成 6 年(1994) 3 月 18 日

(51)Int.Cl.⁵
H 0 2 P 5/00

識別記号 庁内整理番号
D 7315-5H
E 7315-5H
K 7315-5H

F I

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数15(全 18 頁)

(21)出願番号 特願平4-114606

(22)出願日 平成 4 年(1992) 5 月 7 日

(71)出願人 000180025

山洋電気株式会社

東京都豊島区北大塚 1 丁目 15 番 1 号

(72)発明者 菊地 敬吾

東京都豊島区北大塚一丁目十五番一号 山
洋電気株式会社内

(72)発明者 永田 慎

東京都豊島区北大塚一丁目十五番一号 山
洋電気株式会社内

(72)発明者 小菅 泰幸

東京都豊島区北大塚一丁目十五番一号 山
洋電気株式会社内

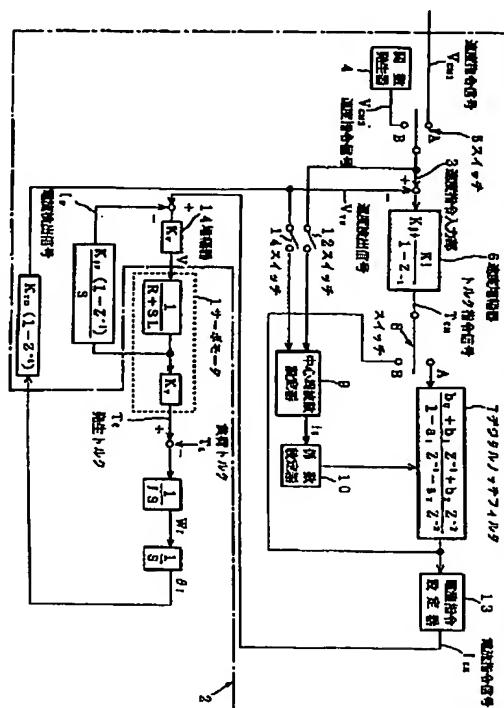
(74)代理人 弁理士 松本 英俊 (外 1 名)

(54)【発明の名称】 サーボ系のノッチフィルタ自動調整方法及び装置

(57)【要約】

【目的】 サーボ系の振動を除去するデジタルノッチフィルタの係数の設定を短時間に且つ自動的に行う。

【構成】 モデル化された離散伝達関数で構成されるデジタルノッチフィルタ 7 をサーボ系から切離し、測定用指令信号 VCM2 を関数発生器 4 からサーボ系に入力して試験動作を行う。中心周波数設定器 9 により、サーボ系を試験動作させたときにサーボ系から出力される動作信号を周波数分析する。分析結果からノッチフィルタ組み込み対象となる信号中の速度ループ応答周波数帯域外の不要周波数成分を検出してこの不要周波数成分を中心周波数として決定する。次に決定した中心周波数と尖鋭度との関係に基づいて、係数設定器 10 によりデジタルノッチフィルタ 7 の離散伝達関数の各係数を求めて離散伝達関数に代入する。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 サーボ系に配置されて不要周波数成分を除去するノッチフィルタの自動調整方法であって、
前記ノッチフィルタとしてモデル化された離散伝達関数で構成されるデジタルノッチフィルタと測定用指令信号を発生する関数発生器とを用い、
前記デジタルノッチフィルタを前記サーボ系から切離す切離しステップと、
前記デジタルノッチフィルタを前記サーボ系から切離した状態で前記関数発生器から前記サーボ系に前記測定用指令信号を供給して前記サーボ系を試験動作させ、このときにサーボ系の動作信号を周波数分析する周波数分析ステップと、
前記周波数分析ステップの分析結果からノッチフィルタ組み込み対象となる信号中の速度ループ応答周波数帯域外の不要周波数成分を検出して該不要周波数成分を前記デジタルノッチフィルタの中心周波数として決定する中心周波数決定ステップと、
決定した前記中心周波数と尖鋭度との関係に基づいて前記デジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を求める係数決定ステップと、
前記係数決定ステップで求めた前記係数を前記離散伝達関数に代入する係数代入ステップとを自動で行うことを特徴とするサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法。

【請求項2】 前記係数代入ステップの後に前記デジタルノッチフィルタをサーボ系に自動的に接続する接続ステップを実施する請求項1に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法。

【請求項3】 前記関数発生器から前記測定用指令信号として速度指令信号を出力し、
前記周波数分析ステップでは前記動作信号として速度検出信号を用い、
前記中心周波数決定ステップでは、前記サーボ系の速度ループを閉ループ構成として、前記動作信号と前記測定用指令信号との振幅比を各周波数毎に求める振幅比演算ステップと、該振幅比が最大となる周波数成分を検出する最大振幅比周波数成分検出ステップと、前記最大振幅比周波数成分検出ステップで検出した周波数成分の振幅比が基準振幅比を越えることを判定すると該周波数成分の周波数を前記中心周波数として決定する振幅比判定ステップとからなる請求項1に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法。

【請求項4】 前記関数発生器から前記測定用指令信号としてトルク指令信号を出力し、
前記周波数分析ステップでは前記動作信号として速度検出信号または一巡したトルク指令信号を用い、
前記中心周波数決定ステップでは、前記サーボ系の速度ループをオープンループ構成として、前記動作信号と前記測定用指令信号との振幅比を各周波数毎に求める振幅比演算ステップと、該振幅比が最大となる周波数成分を

2

検出する最大振幅比周波数成分検出ステップと、前記最大振幅比周波数成分検出ステップで検出した周波数成分の振幅比が基準振幅比を越えることを判定すると該周波数成分の周波数を前記中心周波数として決定する振幅比判定ステップとからなる請求項1に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法。

【請求項5】 前記関数発生器からは前記測定用信号として周波数の異なる正弦波信号が順次出力される請求項1に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法。

10 【請求項6】 前記関数発生器からは前記測定用指令信号として、同一振幅からなる複数の周波数成分を重畳させた信号が出力される請求項1に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法。

【請求項7】 前記係数決定ステップでは、予め中心周波数と尖鋭度の関係が最適となるように定めたデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各項の係数を所定周波数毎にメモリにデータ格納しておき、決定された中心周波数に最も近い周波数に対応する係数を選定することを特徴とする請求項1に記載のサーボ系のデジタルノッチフィルタ自動調整方法。

20 【請求項8】 前記係数決定ステップでは、デジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を中心周波数及び尖鋭度の関数として表わし、設定された中心周波数に対応する最適な尖鋭度の関係から各係数を演算して求める請求項1に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法。

【請求項9】 サーボ系に配置されて不要周波数成分を除去するモデル化された離散伝達関数で構成されるデジタルノッチフィルタと、
30 自動調整を行うか否かを判定し、自動調整を行う場合には自動調整指令を出力する自動調整要否判定手段と、前記自動調整指令が出力されると前記デジタルノッチフィルタを前記サーボ系から切離し、調整終了後必要に応じて前記デジタルノッチフィルタを前記サーボ系に自動的に接続する切換手段と、
前記デジタルノッチフィルタが前記サーボ系から切離されている状態で測定用指令信号を発生する関数発生器と、
前記関数発生器から前記サーボ系に前記測定用指令信号が供給されたときにサーボ系内に発生する動作信号を周波数分析し、分析結果からノッチフィルタの組み込み対象となる信号中の速度ループ応答周波数帯域外の不要周波数成分を検出して該不要周波数成分を前記デジタルノッチフィルタの中心周波数として決定する中心周波数決定器と、
40 決定した前記中心周波数と尖鋭度との関係に基づいて前記デジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を求め該係数を前記離散伝達関数に代入する係数設定器とを具備してなるサーボ系のノッチフィルタ自動調整装置。

50 【請求項10】 前記関数発生器は前記測定用指令信号と

(3)

3

して速度指令信号を出力するように構成され、
前記中心周波数設定器は、前記サーボ系の速度ループを閉ループ構成として、前記関数発生器から出力された前記測定用指令信号に対応して前記動作信号として検出した速度検出信号を記憶する信号記憶手段と、
前記信号記憶手段に記憶した前記速度検出信号を周波数分析する周波数分析手段と、
前記周波数分析手段で分析した前記動作信号と前記測定用指令信号との振幅比を各周波数毎に演算する振幅比演算手段と、
前記振幅比演算手段で演算した振幅比を記憶する振幅比記憶手段と、
前記振幅比記憶手段に記憶した振幅比から最大振幅比を検出する最大振幅比検索手段と、
前記最大振幅比が基準振幅比より大きい場合に該最大振幅比に対応する周波数成分を前記中心周波数として前記係数設定器に出力する中心周波数決定手段とから構成される請求項9に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整装置。

【請求項11】前記関数発生器は前記測定用指令信号としてトルク指令信号を出力するように構成され、
前記中心周波数設定器は、前記サーボ系の速度ループをオープンループ構成として、前記関数発生器から出力された前記測定用指令信号に対応して前記動作信号として検出した速度検出信号または一巡したトルク指令信号を記憶する信号記憶手段と、
前記信号記憶手段に記憶した前記速度検出信号または一巡したトルク指令信号を周波数分析する周波数分析手段と、
前記周波数分析手段で分析した前記不要周波数成分の振幅と前記速度指令信号またはトルク指令信号の振幅との比を演算する振幅比演算手段と、
前記振幅比演算手段で演算した振幅比を記憶する振幅比記憶手段と、
前記振幅比記憶手段に記憶した振幅比から最大振幅比を検出する最大振幅比検索手段と、
前記最大振幅比が基準振幅比より大きい場合に該最大振幅比に対応する周波数成分を前記中心周波数として前記計数設定器に出力する中心周波数決定手段とから構成される請求項9に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整装置。

【請求項12】前記関数発生器は周波数の異なる正弦波信号が順次出力される信号を前記測定用指令信号として出力する請求項10または11に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整装置。

【請求項13】前記関数発生器は同一振幅から成る複数の周波数成分を重畳した信号を前記測定用指令信号として出力する請求項10または11に記載のサーボ系のノッチフィルタ自動調整装置。

【請求項14】前記係数設定器は、中心周波数と尖鋭度

4

との関係が最適になる離散伝達関数の各係数を所定の周波数毎に記憶する係数データテーブルと、
前記中心周波数設定器が決定した中心周波数に基づいて前記係数データテーブルから最適な離散伝達関数の係数を選定して前記デジタルノッチフィルタの離散伝達関数に代入する係数決定手段とからなる請求項9に記載のサーボ系のノッチフィルタの自動調整装置。

【請求項15】前記係数設定器は、中心周波数と尖鋭度との関係を記憶するデータ記憶手段と、

10 前記デジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を中心周波数と尖鋭度との関数として記憶して前記各係数を演算する係数演算手段とからなり、該係数演算手段は前記中心周波数決定手段が決定した中心周波数と前記中心周波数と尖鋭度との関係を記憶する記憶手段から選定した尖鋭度とを用いて前記各係数を演算する請求項9に記載のサーボ系のノッチフィルタの自動調整装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はサーボ系に発生する速度ループ応答周波数帯域外の振動を自動的に検出して前記振動を除去するサーボ系のノッチフィルタ自動調整方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】サーボ系に発生する振動を自動的に検出してこの振動を除去する技術としては、特開平2-261083号公報に示されるように、振動が発生しなくなるレベルまで速度ループゲインを低下させる技術がある。またサーボ系にノッチフィルタを挿入して不要周波数成分を除去する技術も提案されている。

30 【0003】

【発明が解決しようとする課題】振動が発生しなくなるレベルまで速度ループゲインを低下させる従来の技術では、振動を除去できても、速度ループゲインを低下させてしまうため、サーボ性能を低下させた状態で使用せざるを得ないという問題があった。また、サーボ系にノッチフィルタを入れて振動を除去する従来の技術では、振動の状態及びサーボ性能を確認しながら試行錯誤でフィルタの係数を決めていたため、調整に多大な時間と労力を要するという問題があった。

40 【0004】本発明の目的は、サーボ系の振動を除去するためにデジタルノッチフィルタを用いた上で、デジタルノッチフィルタの係数の設定を短時間に且つ自動的行うことができるデジタルノッチフィルタ自動調整方法及び装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の方法では、ノッチフィルタとしてモデル化された離散伝達関数で構成されるデジタルノッチフィルタを用い、また測定用指令信号を発生する関数発生器を用いる。その上で本発明の方法では切離ステップと、

50

5

周波数分析ステップと、中心周波数決定ステップと、係数決定ステップと係数代入ステップとを自動的に実施する。切離しステップでは、自動調整を行う前にデジタルノッチフィルタをサーボ系から切離す。周波数分析ステップでは、デジタルノッチフィルタをサーボ系から切離した状態で関数発生器からサーボ系に測定用指令信号を供給してサーボ系を試験動作させ、このときにサーボ系の動作信号（速度検出信号、一巡したトルク指令信号等）を周波数分析する。中心周波数決定ステップでは、周波数分析ステップの分析結果からノッチフィルタの組み込み対象となる動作信号中の速度ループ応答周波数帯域外の不要周波数成分を検出して該不要周波数成分をデジタルノッチフィルタの中心周波数として決定する。係数決定ステップでは、中心周波数決定ステップで決定した中心周波数と尖鋭度との関係に基づいてデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を求める。係数代入ステップでは、求めた係数をデジタルノッチフィルタに自動的に代入する。係数を代入したデジタルノッチフィルタをサーボ系に接続する接続ステップは、自動でも手動でもよい。

【0006】また本発明の装置は、図9に示したクレーム対応図に見られるように、サーボ系に配置されて不要周波数成分を除去するモデル化された離散伝達関数で構成されるデジタルノッチフィルタ7と、自動調整要否判定手段101と、切換手段102と、関数発生器5と、中心周波数設定器9と、係数設定器10とから構成される。自動調整要否判定手段は、自動調整を行うか否かを判定し、自動調整を行う場合には自動調整指令を出力する。切換手段は、自動調整指令が出力されるとデジタルノッチフィルタをサーボ系から切離し、自動調整終了指令によりデジタルノッチフィルタをサーボ系に接続する。関数発生器は、デジタルノッチフィルタがサーボ系から切離されている状態で、測定用指令信号を発生する。中心周波数設定器は、関数発生器からサーボ系に測定用指令信号が供給されたときにサーボ系内に発生する動作信号を周波数分析し、分析結果からノッチフィルタ組み込み対象となる信号中の速度ループ応答周波数帯域外の不要周波数成分を検出して該不要周波数成分をデジタルノッチフィルタの中心周波数として決定する。そして係数設定器は、決定した中心周波数と尖鋭度との関係に基づいてデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を求め該係数を離散伝達関数に代入すると共に自動調整終了指令を出力する。

【0007】本発明の方法及び装置において、関数発生器から測定用指令信号として速度指令信号をサーボ系に与える場合には、デジタルノッチフィルタを組み込まない状態を作るときにサーボ系の速度ループを閉ループ構成とし、周波数分析では動作信号として速度検出信号を用いる。また関数発生器から測定用指令信号としてトルク指令信号をサーボ系に与える場合には、デジタルノッ

(4)

6

チフィルタを組み込まない状態を作るときにサーボ系をトルク指令部の前後で切り離してオープンループ構成とし、周波数分析ステップでは動作信号として速度検出信号または一巡トルク指令信号を用いる。

【0008】例えば中心周波数は、例えば速度検出信号とトルク指令信号との振幅比を各周波数毎に求め、振幅比が最大となる周波数成分を検出し、検出した周波数成分の振幅比が基準振幅比を越えたときに該周波数成分の周波数を中心周波数として決定することができる。

【0009】関数発生器としては、一定振幅で周波数の異なる正弦波信号を測定用信号として順次出力するものや、同一振幅からなる周波数成分を重畳させた信号を出力するものを用いることができる。

【0010】また係数の決定は、予め中心周波数と尖鋭度の関係が最適となるように定めたデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各項の係数を所定周波数毎にメモリにデータ格納しておき、決定された中心周波数に最も近い周波数に対応する係数を選定してもよいし、デジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を中心周波数及び尖鋭度の関数として表わし、設定された中心周波数に対応する最適な尖鋭度の関係から各係数を演算して求めてもよい。

【0011】

【作用】本発明の方法及び装置では、動作信号（速度検出信号、トルク指令信号等）を周波数分析し、その結果から不要周波数成分を検出して、検出した不要周波数成分の中から中心周波数を決定し、中心周波数と尖鋭度Qとの関係からデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を決定し、決定した係数をデジタルノッチフィルタの離散伝達関数に代入することを自動的に行うため、短時間のうちに簡単にデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の係数の設定を行える。

【0012】関数発生器として、一定振幅で周波数の異なる正弦波信号を測定用信号として順次出力するものを用いる場合には、各周波数毎に順次動作信号データのサンプリングを行うことになるが、データ処理を正確に行える。これに対して関数発生器として、同一振幅からなる周波数成分を重畳させた信号を出力するものを用いると、より短い時間でデータ処理を行える。

【0013】なお速度ループを閉ループとした場合には、速度指令信号と速度検出信号との振幅比を求める場合よりもトルク指令信号と速度検出信号との振幅比を求めたほうが、不用周波数成分による振動時には、少ないトルク指令信号で速度検出信号の振幅が大きくなるので、速度ループの応答に基づく振動との区別がより一層明確になる。同様に速度ループを開ループとした場合にはトルク指令信号と一巡したトルク度指信号との振幅比を求める場合よりもトルク指令信号と速度検出信号との振幅比を求めた場合のほうが速度ループの応答に基づく振動との区別がより一層明確になる。

(5)

7

【0014】また係数を決定するに当たって、予め中心周波数と尖鋭度の関係が最適となるように定めたデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各項の係数を所定周波数毎にメモリにデータ格納しておき、決定された中心周波数に最も近い周波数に対応する係数を選定すると、より短い時間で係数の決定処理を行うことができるという利点がある。

【0015】更にデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を中心周波数及び尖鋭度の関数として表わし、設定された中心周波数に対応する最適な尖鋭度の関係から各係数を演算して求めると、少ないメモリ容量で係数を決定できる。

【0016】

【実施例】図1は第1の実施例におけるサーボ系をブロック線図で示したものであり、図2は第1の実施例の中心周波数設定器及び係数設定器を含む主要部をソフトウェア上なわちプログラムで実現する場合の主要部のブロック図を示している。

【0017】図1において、サーボ系は工作機械等の負荷装置を駆動するサーボモータ1及びこのサーボモータ1を制御するサーボアンプ2から構成される。サーボアンプ2は、主としてDSP (Digital Signal Processor) 等を使用したデジタル制御系からなり、次のように構成される。まず速度指令入力部3は図示していないコントローラからの速度指令信号VCM1 または関数発生器*

$$G(s) = \{S^2 + (2\pi fc)^2\} / \{S^2 + (2\pi fc/Q)S + (2\pi fc)^2\} \quad \dots(1)$$

fc : 中心周波数

Q : 尖鋭度

※一次変換すると、(2)式のようなになる。

【0020】

ここで、プリウオーピング手法を施した後、(1)式を双※30

$$D(Z) = (b_0 + b_1 Z^{-1} + b_2 Z^{-2}) / (1 - a_1 Z^{-1} - a_2 Z^{-2}) \quad \dots(2)$$

(2)式において、 a_1 、 a_2 、 b_0 、 b_1 、 b_2 は係数★Qの関数として表わすと、次のようになる。
であり、これらの係数を前記中心周波数fc及び尖鋭度★

【0021】

$$a_1 = b_1 = [2Q\{(\omega_a Ts)^2 - 4\}] / [4Q + 2(\omega_a Ts) + Q(\omega_a Ts)^2] \quad \dots(3)$$

$$a_2 = [4Q - 2(\omega_a Ts) + Q(\omega_a Ts)^2] / [4Q + 2(\omega_a Ts) + Q(\omega_a Ts)^2] \quad \dots(4)$$

$$b_0 = b_2 = [4Q + Q(\omega_a Ts)^2] / [4Q + 2(\omega_a Ts) + Q(\omega_a Ts)^2] \quad \dots(5)$$

$$\omega_a = \{2/Ts\} \tan\{(\omega_d Ts)/2\} \quad \dots(6)$$

$$\omega_d = 2\pi fc \quad \dots(7)$$

但し、Tsはノッチフィルタのサンプリング周期である。

【0022】上述した(7)式における中心周波数fcを設定するために、サーボアンプ2には中心周波数設定器9が設けられている。この中心周波数設定器9は、スイッチ8がB端子を選択し、更にスイッチ12及び14をオン状態にすることにより、ノッチフィルタ7を組み込まない状態を選択し、且つ速度ループを閉ループ構成にして、中心周波数の設定動作を行う。中心周波数設定器

8

*4からの測定用指令信号である速度指令信号VCM2の入力をプログラム上で選択可能に構成されている。図1においてはプログラム上の動作を明確にするために、信号の選択を実行する手段をスイッチ5で表わしてある。上記速度指令信号VCM1又はVCM2と速度検出信号VTGとの偏差は周知の速度増幅器6に入力され、サーボモータ1とサーボアンプ2の組み合わせによってサーボ性能が充分発揮できるように、比例ゲインKpと積分ゲインKiとが調整される。これらのゲイン調整の際には、後述するデジタルノッチフィルタ7をサーボ系に組み込んだ際に生じる位相遅れの分を考慮してゲイン余裕及び位相余裕を決定する必要がある。

【0018】また、サーボアンプ2には、サーボ系内に選択可能に組み込むことができるようにデジタルノッチフィルタ7が設けられている。具体的には速度増幅器6からのトルク指令信号TCMをスイッチ8の切り替えによってノッチフィルタ7を通過させるかどうか選択できるようにして、ノッチフィルタ7のサーボ系内への組み込みを選択可能にしている。なおこのスイッチ8もプログラムにより実現されるものである。ノッチフィルタ7のモデルとしては種々の構成が考えられるが、本実施例では次の(1)式で示されるアナログ・ノッチフィルタの伝達関数を双一次変換した離散伝達関数を使用することにする。

【0019】

※一次変換すると、(2)式のようなになる。

【0020】

★Qの関数として表わすと、次のようになる。

【0021】

9は、関数発生器4からサーボ系に速度指令信号VCM2が入力されたときにサーボ系内に発生する速度検出信号VTG(動作信号の一つ)を周波数分析し、分析結果から速度検出信号VTG中の速度ループ応答周波数(カットオフ周波数)帯域外の不要周波数成分を検出して該不要周波数成分をデジタルノッチフィルタの中心周波数fcとして決定する。具体的には、例えば図2に示すような手段によって構成することができる。図2の例では、関数発生器4から周波数の異なる速度指令信号VCM2を順次

(6)

9

出力し、各周波数の速度指令信号VCM2 毎に周波数分析を行う。そこで中心周波数設定器9を、信号記憶手段9 aと、周波数分析手段9 bと、振幅比演算手段9 cと、振幅比記憶手段9 dと、最大振幅比検索手段9 eと、指令周波数カウント手段9 fと中心周波数決定手段9 gとから構成する。信号記憶手段9 aは、速度検出信号VTGのデータを所定のサンプリング周期に従って記憶する。なお本実施例では、関数発生器4から出力する速度指令信号VCM2 の振幅（ピーク値）を一定としているため、速度指令信号VCM2 は記憶しないが、もし速度指令信号VCM2の振幅を可変にする場合には、信号記憶手段9 aに速度指令信号を記憶させるようにすればよい。周波数分析手段9 bは、関数発生器4から出力された所定の周波数の速度指令信号VCM2 をサーボ系に入力して発生した速度検出信号VTGを所定の周期でサンプリングして周波数分析する。なお周波数分析手段9 bは、分析結果を記憶するメモリを内蔵している。周波数分析手段9 bは、サンプリング毎に速度検出信号VTGのゲイン（振幅値）を測定する。振幅比演算手段9 cは、周波数分析手段9 bで分析した周波数成分の振幅と速度指令信号VCM2 の振幅との比すなわち振幅比Rを各周波数毎に演算する。振幅比演算手段9 cで演算した振幅比Rと該振幅比に該当する周波数成分が振幅比記憶手段9 dに順次記憶される。振幅比記憶手段9 dに周波数の異なる速度指令信号VCM2 についての振幅比が記憶されると、最大振幅比検索手段9 eはその中から最大振幅比Rcを検索する。なお関数発生器4から順次出力される速度指令信号VCM2 の周波数の変化範囲は予め決めてあるので、指令周波数カウント手段9 fにより速度指令信号VCM2の周波数の変化回数をカウントすることにより、現在の速度指令信号VCM2 の周波数を認識することができる。最大振幅比検索手段9 eが最大振幅比を決定すると、中心周波数決定手段9 gは最大振幅比Rcが基準振幅比Rrefより大きいのか否かを判定し、最大振幅比Rcが基準振幅比Rrefより大きい場合にのみ、最大振幅比Rcに該当する周波数成分をノッチフィルタ7の中心周波数fcと決定して、係数設定器10にその情報を出力する。最大振幅比Rcが基準振幅比Rref以下であれば、中心周波数決定手段9 gは係数設定器10に係数の設定の中止を指示する。

【0023】ここで中心周波数決定手段9 gの基準振幅比Rref は、速度ループの応答による振動と区別するために、例えば-40 dBに設定されている。なお、前述した振幅比Rの演算において、速度指令信号VCM2 の振幅（ピーク値）が一定である場合には、振幅比Rの演算式の除数が一定となるので、実際にはわざわざ振幅比Rを演算する必要はなく、周波数分析手段9 bで求めた速度検出信号VTGの振幅データを振幅比Rとしてそのまま使用することができる。速度検出信号VTGの振幅データのみから中心周波数fcを決定する場合で本実施例のよ

10

うに周波数分析手段9 bがメモリ機能を内蔵している場合には、振幅比演算手段9 cと振幅比記憶手段9 dとを除去し、中心周波数決定手段9 gで用いる基準振幅比Rref の値を変更すればよい。なお中心周波数決定手段9 g内に中心周波数許容範囲判定手段を付加して中心周波数fcを決定する際に、設定範囲に制約を付けるようにしてもよい。中心周波数fcの設定範囲($f_{ref1} \leq f_c \leq f_{ref2}$)に制約を付けるのが好ましいのは、次の理由からである。中心周波数fcを下げて速度ループ応答周波数（例えば100 Hz）に近づけると、ノッチフィルタ単位の位相遅れ量が速度ループ系の位相遅れに大きく影響してくる。一方、中心周波数fcの上限は、デジタルフィルタの特性上、サンプリング周波数（例えば4 kHz）の1/2、つまり2 kHzが限度となる。以上のことを考慮して、本実施例では中心周波数fcの設定範囲を200 Hz～1280 Hzとする。

【0024】前述した(3)式～(7)式の関係において、ノッチフィルタ7のサンプリング周期Tsは既知であるため、中心周波数fcが定まれば、後は尖鋭度を決定することで、係数a1 (=b1)、a2、b0 (=b2)を求めることができる。係数設定器10は、これらの係数を求めて(2)式で示される関数に代入する。この係数設定器10は設定された中心周波数fcに対応する最適な尖鋭度の関係から係数を設定するように構成されている。例えば図2の例では、係数設定器10の係数決定手段10 aは、中心周波数fcに基づいて尖鋭度を決定して係数データテーブル10 bから係数を求める。なお係数決定手段10 aは、中心周波数fcが決定されなければ係数を演算しないで、デジタルノッチフィルタ7をサーボ系に挿入しないでサーボ制御を行うことを指令する指令信号を出力し、中心周波数fcが決定されて係数の演算を行った場合には、演算した係数をデジタルノッチフィルタ7に代入するとともにデジタルノッチフィルタ7をサーボ系に接続させるための指令（自動調整終了指令）を出力する。

【0025】係数決定手段10の構成としては、係数データテーブルを用いずに、演算だけで係数を求めることもできる。その場合には、図3に示すように係数決定手段10を中心周波数fcと尖鋭度との関係を記憶するデータ記憶手段10 dと、係数演算手段10 cとから係数を求める。係数演算手段10 cは中心周波数設定器9が決定した中心周波数fcとデータ記憶手段10 dから選定した尖鋭度とを用いて各係数を演算する。

【0026】中心周波数fcに対する尖鋭度の関係は、中心周波数fcが速度ループ応答周波数に近くなると、位相遅れの影響でサーボ系が不安定領域に近づくので、尖鋭度を大きくして位相遅れの影響を可能な限り抑制する必要がある。このような場合には、ノッチフィルタ7を組み込まれない時の速度ループ系の位相遅れ量にノッチフィルタ単位の位相遅れ量を加算しても、充分な安定

(7)

11

度が保てるように尖鋭度を決定する必要がある。一方、中心周波数 f_c が高い場合には、速度ループ応答周波数付近におけるノッチフィルタ単独の位相遅れ量は比較的小さくなるので、尖鋭度を小さめにして不要信号を除去 *

$$Q=0.9 - \log (f_c / 200)$$

次に、サーボアンプ2の電流ループ系について簡単に説明する。前述したトルク指令信号TCMは電流指令設定器13によって電流指令信号ICMに変換される。周知の通り、電流指令設定器13での処理は、サーボモータ1の種類によって異なり、直流機では直流レベルでのゲイン変換により、ブラシレスモータではロータ位置検出信号(図示せず)との合成により、また誘導機では励磁電流指令とのベクトル合成により電流指令信号ICMが作られる。電流指令信号ICMと電流検出信号IFとの偏差は増幅器13によって増幅され、図示していないパルス幅変調(PWM)インバータを介してサーボモータ1に指令電流が供給される。サーボモータ1は指令電流の供給によってトルク指令信号TCMに応じた発生トルクTeを生じ、一方では工作機械等の負荷に応じた負荷トルクTLを生じる。

【0028】図4ないし図6は図1及び図2に示す実施例をDSPを用いてソフトウェアによって実行する場合のアルゴリズムのフローチャートを示しており、図4のフローチャートは電源イニシャル時に1度だけ実行され、図5のフローチャートは速度ループのサンプリング周期(本実施例では250 μ s)毎に実行され、図6のフローチャートは電流ループのサンプリング周期(本実施例では50 μ s)毎に実行されるものである。

【0029】図4において、ステップ100~103では後述する自動調整フラグ、係数設定フラグ、中心周波数設定フラグ、データサンプルフラグの全フラグをクリアし、ステップ104でサンプリングのカウンタ値iを初期値1に設定し、ステップ105で指令周波数のカウンタ値nを初期値20に設定し、ステップ106ではDSPにバス接続された不揮発性メモリから「ノッチフィルタ7を組み込むか否かを判断する1ビットデータ」及び「係数a1, a2, b0, b1, b2のデータ」を読み込む。そして、ステップ107~109では、ノッチフィルタ7の組み込みを選択しているかどうかを判断し、組み込みを選択している場合はノッチフィルタ組み込みフラグをセットし、組み込まない旨を選択している場合はこのフラグをクリアする。

【0030】以下では、速度ループ、電流ループの各サンプリング周期毎の処理内容を説明する。操作者が速度指令信号VCM1を0(rpm)にし、且つサーボ系をオン動作した状態で、図示していない自動調整ボタンを押すと、レジスタの自動調整フラグがセットされ、図5においてステップ200からステップ201へ進み、ノッチフィルタ7を組み込まない状態を選択した後、ステップ202へ進む。なおステップ200は図9の自動調整要

12

*する帯域幅を広くすることが好ましい。以上のことを考慮して、本実施例では尖鋭度Qを次の(8)式で示されるように中心周波数 f_c の関数として求めることにする。
【0027】

$$\dots(8)$$

否定判定手段101及び切換手段102の一部を実現する。ステップ202では、イニシャル処理で係数設定フラグがクリアされているのでステップ203を経由してデータサンプルルーチン204へと進む。データサンプルルーチン204では、ステップ205でデータサンプルフラグをセットし、ステップ206で関数発生器4から一定の振幅で200Hzから1280Hzまで10 Hz 毎に順次変化させた正弦波速度指令信号VCM2を入力し、側路ループ処理が行われ、1つの周波数の正弦波速度指令信号VCM2が入力されると毎に、ステップ207へ進んで速度ループの処理を行う。

【0031】その後、図6で示す電流ループ毎の処理では、ステップ300でデータサンプルフラグがセットされているか否かを判断した際、図5のステップ205でセット状態となっているので、データサンプルルーチン301へと進む。このルーチン301では、ステップ302においてサンプルとして入力するデータ数iが後述する周波数分析に必要なデータ数mを越えたか否かが判断され、データ数iをカウントするカウンタ値iは図4のイニシャル処理で1に設定されているので、ステップ303へ進み、速度検出信号VTGの信号データD1をサンプルデータ格納用メモリ【図2の信号記憶手段9b】のうち先頭アドレスにあるメモリM1に格納する。そして、ステップ304でカウンタ値iを1だけ進めた後、ステップ305へ進み、電流ループの処理を行う。以後、カウンタ値iが必要データ数mを越えるまで、ステップ303及び304においてi番目の信号データDiをメモリMiに格納し、カウンタ値iが必要データ数mを越えると、ステップ302から306へ進んで中心周波数設定フラグをセットし、更にステップ307でデータサンプルフラグをクリアする。このステップ307での処理によって、その後にステップ300でデータサンプルフラグがセットされているか否かを判断した際には、そのままステップ305へ進むこととなるので、必要以上のデータサンプル処理が行われることはない。

【0032】次に、図5のステップ203において、中心周波数設定フラグがセットされているか否かを判断した場合、図6のステップ306で該フラグはセットされているので、中心周波数設定ルーチン208へと進む。なお、この時点では1つの周波数についてのデータサンプル処理は終了している。

【0033】中心周波数設定ルーチン208は、中心周波数設定器9を実現する。このルーチン208においては、ステップ303で格納されたm個の速度検出信号VTGのデータD1~Dmを周波数分析し、各周波数成分f

13

20～f128の振幅(ピーク値)W20～W128を求め、この振幅と速度指令信号VCM2の振幅Wxnとの比(振幅比Rn)を求め、この振幅比Rnをメモリする。各周波数成分f20～f128の振幅W20～W128を求める手段は、周知のFFT(高速フーリエ変換)あるいはDFT(デジタルフーリエ変換)処理を使用して速度検出信号VTGにおける速度指令信号VCM2と同一周波数成分の振幅を求めてもよく、また簡易的に高調波成分を含む速度検出信号VTGの実効値から振幅を求めてもよい。ステップ209は、図2の周波数分析手段9b、振幅比演算手段9c及び振幅比記憶手段9dを実現する。ステップ210では、指令周波数カウンタ値nが設定値Kに達したか否かを判断し、設定値に達していない場合には、ステップ210a及び210bを経由して速度ループの処理のステップ207へと進み、更に10Hz周波数を高くした速度指令信号VCM2がサーボ系に入力される。指令周波数カウンタ値nが設定値K(本実施例ではK=128)に達すると、ステップ211に進み、ステップ211では記憶した各振幅比Rnから最大振幅比Rcを検索する。ステップ212では、最大振幅比Rcが基準振幅比Rrefより大きいのか否かを判定し、不要周波数成分として除去するレベルに達しているかどうかを判断する。最大振幅比Rcが基準振幅比Rrefより大きい場合には、ステップ213で最大振幅比Rcに該当する周波数成分fcの値をLED表示し、ステップ214で係数設定フラグをセットする。一方、ステップ212において、最大振幅比Rcが基準振幅比Rref以下であれば、ステップ215でノッチフィルタ7を組み込む必要がない旨を表示し、ステップ216でノッチフィルタ組み込みフラグをクリアする。

【0034】そして、ノッチフィルタ組み込み不要である場合には、初期化ルーチン217へ進み、ステップ218～220で各フラグをクリアするとともにステップ221でカウンタ値iを初期値1に設定し、ステップ222で指令周波数カウンタ値nを20に設定する。

【0035】前述したように、ノッチフィルタ7を組み込むべきである旨の判断がされると、ステップ214で係数設定フラグがセットされるので、その後、ステップ202で係数設定フラグがセットされているか否かを判断した際には、係数設定ルーチン223へと進む。

【0036】係数設定ルーチン223は係数設定器10を実現し、この係数設定ルーチン223では、前述したように予め中心周波数fcと尖鋭度Qの関係が最適となるように定めて、所定周波数(例えば10Hz)毎に係数a1(=b1)、a2、b0(=b2)の各データをテーブルに格納しておき、設定された中心周波数fcに最も近い周波数fc'に対応する係数データをテーブル【図2の係数データテーブル10b】から読み込み(ステップ224)、ノッチフィルタ7の関数に代入する(ステップ225)。なお、本実施例の場合、中心周波

(8)

14

数fcの設定及び係数データの設定がともに10Hz毎に行われるので、上述したfcとfc'が等しくなる。その後、ステップ226ではノッチフィルタ組み込みフラグをセットし、ステップ227では「ノッチフィルタ組み込みである旨」及び「係数a1(=b1)、a2、b0(=b2)のデータ」を不揮発性メモリに書き込む処理を行い、電源OFF時に自動調整の結果が消去しないようにする。そして、ステップ228では、操作者にノッチフィルタ組み込み完了である旨を表示、前述した初期化ルーチン218の処理を行う。

【0037】なお図3の例では、ステップ224で示される処理の代わりに、尖鋭度Qを(8)式で、各係数を(3)式～(7)式で直接演算して求め、ステップ225でノッチフィルタ7の関数に代入する。

【0038】その後、ステップ200において、自動調整フラグがセットされているか否かを判断した際、ステップ219でこのフラグはクリアされているので、フィルタ選択ルーチン229へと進む。このルーチン229では、ステップ230で図1のスイッチ5のA端子を選択して外部からの速度指令信号VCM1を入力状態とし、ステップ231でノッチフィルタ組み込みフラグがセットされているか否かを判断し、このフラグのセット、クリア状態に応じて図1のスイッチ8を切換えて、ノッチフィルタ7を組み込むか否かを選択する。そして、ノッチフィルタ7を組み込んだ状態を選択することで、前記応答周波数帯域外の不要周波数成分fcによる振動を除去した状態で、サーボ系を動作させることができる。

【0039】なお、以上説明した実施例では、サンプルデータとして速度検出信号VTGを入力しているが、該信号VTGを微分した信号データを入力して不要周波数成分のピックアップ感度を上げるように構成してもよい。また測定用指令信号として電流指令信号ICMを用い、周波数分析の動作信号として電流検出信号IFを用いるように構成してもよい。

【0040】以上説明した実施例では、関数発生器4からの速度指令信号VCM2を一定振幅(ピーク値一定)の正弦波とし、速度指令信号VCM2の周波数を順次変化させることにより行っているが、同一振幅からなる周波数成分を重畳させた信号を与えることにより行うことも可能である。この場合、速度ループサンプリング周期毎の処理は図7に示すようになり、電流ループ毎の処理は図6と同様になる。イニシャル処理は、図4においてステップ105を除いたものと同じになる。図7の速度ループサンプリング周期毎の処理は、ステップ206'において関数発生器4から同一振幅からなる周波数成分を重畳させた速度指令信号VCM2を与える点と、中心周波数設定ルーチン208'においてステップ210、210a及び210bが除かれている点と、初期化ルーチンにおいてステップ222が除かれている点が、図5の処理と異なる。中心周波数設定器9の構成は、図2及び図3

15

において指令周波数カウン手段9fを取り除いた構成と実質的に同様になる。

【0041】また、以上説明した実施例では、速度検出信号VTGと速度指令信号VCM2との振幅比Rから中心周波数fcを設定するように構成されているが、速度指令信号VCM2を与えた時の速度検出信号とその時のトルク指令信号TCMとの振幅比Rから中心周波数fcを設定するように構成してもよい。この場合、不用周波数成分による振動時には、少ないトルク指令信号TCMで速度検出信号VTGの振幅が大きくなるので、速度ループの応答に

基づく振動との区別がより一層明確になる。

【0042】図8は本発明の第2の実施例におけるサーボ系をブロック線図で示したものであり、図1に示した第1の実施例と同一部分には同一符号を付して説明を省略又は簡略化する。本実施例において、図1の実施例と異なるのは、関数発生器4'から一巡したトルク指令信号TCM2を発生し、中心周波数設定器9にトルク指令信号TCM2とトルク指令信号TCM1とを入力する点である。そこで図1のスイッチ5が取り除かれ、スイッチ15及び16が追加された。

【0043】この実施例では、スイッチ8がB端子を選択してノッチフィルタ7を組み込まない状態を選択し、またスイッチ16をオフ動作してサーボ系をトルク指令信号TCM1の前後で切り離してオープンループ構成とし、スイッチ15のオン動作により関数発生器4'から一定振幅の正弦波のトルク指令信号TCM2を所定周波数（本実施例では10Hz）毎に順次変化させながら入力する。そして、スイッチ11及び12のオン動作により、各周波数毎の一巡したトルク指令信号TCM1信号データDiをメモリMiに格納し、格納した一巡したトルク指令信号TCM1の振幅と予め判っているトルク指令信号TCM2の振幅との振幅比Rnの中で最大振幅Rcとなる周波数成分fcが基準振幅比Rrefを越える場合に、不要周波数成分としてピックアップすることにより行うように構成されている。

【0044】本実施例の処理内容は、図4～図6で示すフローチャートと同様であり、異なる点は、図5のステップ206において指令がトルク指令信号TCM2となる点と、図6のステップ303において入力するデータDiが一巡したトルク指令信号TCM1となる点である。

【0045】上記実施例では、関数発生器4'からのトルク指令信号TCM2を一定振幅の正弦波とし、指令周波数を順次変化させることにより行っているが、同一振幅からなる周波数成分を重畳させた信号を与えることにより行うことも可能である。この場合、イニシャル処理は図においてステップ105を除いた場合と同様であり、速度ループサンプリング周期毎の処理は図7のステップ206'において指令がトルク指令信号TCM2となる点のみ異なり、電流ループ毎の処理では図6のステップ303において入力するデータDiが一巡したトルク指令

(9)

16

信号TCM1となる点のみ異なる。

【0046】また、上記実施例では、図8に示すようにサンプルデータDiとして、一巡したトルク指令信号TCM1及び元のトルク指令信号TCM2を入力するように構成しているが、トルク指令信号TCM1の代わりに速度検出信号VTGをスイッチ11を介して入力するように構成してもよく、この場合には、速度ループ処理による影響をなくした状態で中心周波数fcを設定することができる。

10 【0047】（変形例）以上説明した各実施例では、速度ループ系及び電流ループ系で構成されるサーボアンプ2について説明したが、本発明は位置ループ系を含むサーボアンプにも適用することができることは言うまでもない。

【0048】また実施例では、1段デジタルノッチフィルタ7について説明したが、多段デジタルノッチフィルタにも本発明をそのまま応用することができる。

20 【0049】更に、実施例ではノッチフィルタ10の組み込み動作まで完全自動調整を行うように構成したが、係数設定までを自動調整で行い、ノッチフィルタ10を組み込むか否かの選択を操作者の判断に委ねるように構成してもよい。

【0050】更に、実施例では自動調整の処理を速度ループのサンプリング周期と電流ループのサンプリング周期に分けて行っているが、速度ループサンプリング周期の中でまとめて行うように構成してもよく、あるいはこれらのサンプリング周期とは別の周期で処理するように構成してもよい。

30 【0051】以上説明した各実施例によれば、ノッチフィルタを組み込まない状態を選択して関数発生器からの指令によりサーボ系を試験動作させた時の動作信号を周波数分析して該信号中の速度ループ応答周波数帯域外の不要周波数成分をピックアップしてノッチフィルタの中心周波数として設定し、設定された中心周波数に対応する最適な尖鋭度の関係からノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を求めて該関数に代入し、係数代入されたノッチフィルタを組み込んだ状態を選択してサーボ系を動作させることで速度ループ応答周波数帯域外の不要周波数成分による動作を自動的に除去することで、サーボ性能を低下させることなく、不要な振動を短時間で簡単に除去することができる。

40 【0052】

【発明の効果】以上の通り、本発明の方法及び装置によれば、サーボ系の動作信号を周波数分析して不要周波数成分を検出し、この不要周波数成分を中心周波数として求め、中心周波数と尖鋭度との関係からデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を決定し、決定した係数をデジタルノッチフィルタの離散伝達関数に代入することを自動的に行うため、短時間のうちに簡単にデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の係数の設定を行え

50

(10)

17

る。

【0053】係数を設定したデジタルノッチフィルタのサーボ系への挿入まで自動で行えば作業性が大幅に向上する。

【0054】関数発生器として、一定振幅で周波数の異なる正弦波信号を測定用信号として順次出力するものを用いる場合には、順次サンプリングを行うことになるが、データ処理を正確に行える。これに対して関数発生器として、同一振幅からなる周波数成分を重畳させた信号を出力するものを用いると、より短い時間でデータ処理を行える。

【0055】また係数を決定するに当たって、予め中心周波数と尖鋭度の関係が最適となるように定めたデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各項の係数を所定周波数毎にメモリにデータ格納しておき、決定された中心周波数に最も近い周波数に対応する係数を選定するようにすると、短時間で係数設定の処理を行うことができるという利点がある。

【0056】更にデジタルノッチフィルタの離散伝達関数の各係数を中心周波数及び尖鋭度の関数として表わし、設定された中心周波数に対応する最適な尖鋭度の関係から各係数を演算して求めると、少ないメモリ容量で係数を決定できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を示すサーボ系のブロック線図である。

【図2】中心周波数設定器及び係数設定器の具体的な構成の一例を示すブロック線図である。

18

【図3】中心周波数設定器及び係数設定器の具体的な構成の他の例を示すブロック線図である。

【図4】図1に示す第1の実施例のイニシャル処理を示すフローチャートである。

【図5】図1に示す第1の実施例の速度ループサンプリング周期毎の処理を示すフローチャートである。

【図6】図1に示す第1の実施例の電流ループサンプリング周期毎の処理を示すフローチャートである。

【図7】図1の実施例の変形例における速度ループサンプリング周期毎の処理を示すフローチャートである。

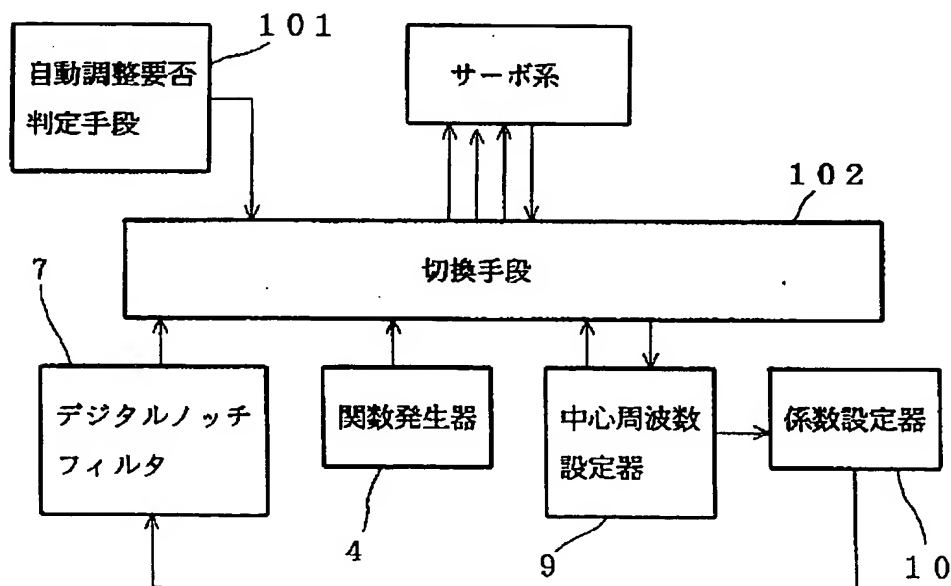
【図8】本発明の第2の実施例を示すサーボ系のブロック線図である。

【図9】本発明の装置のクレーム対応図である。

【符号の説明】

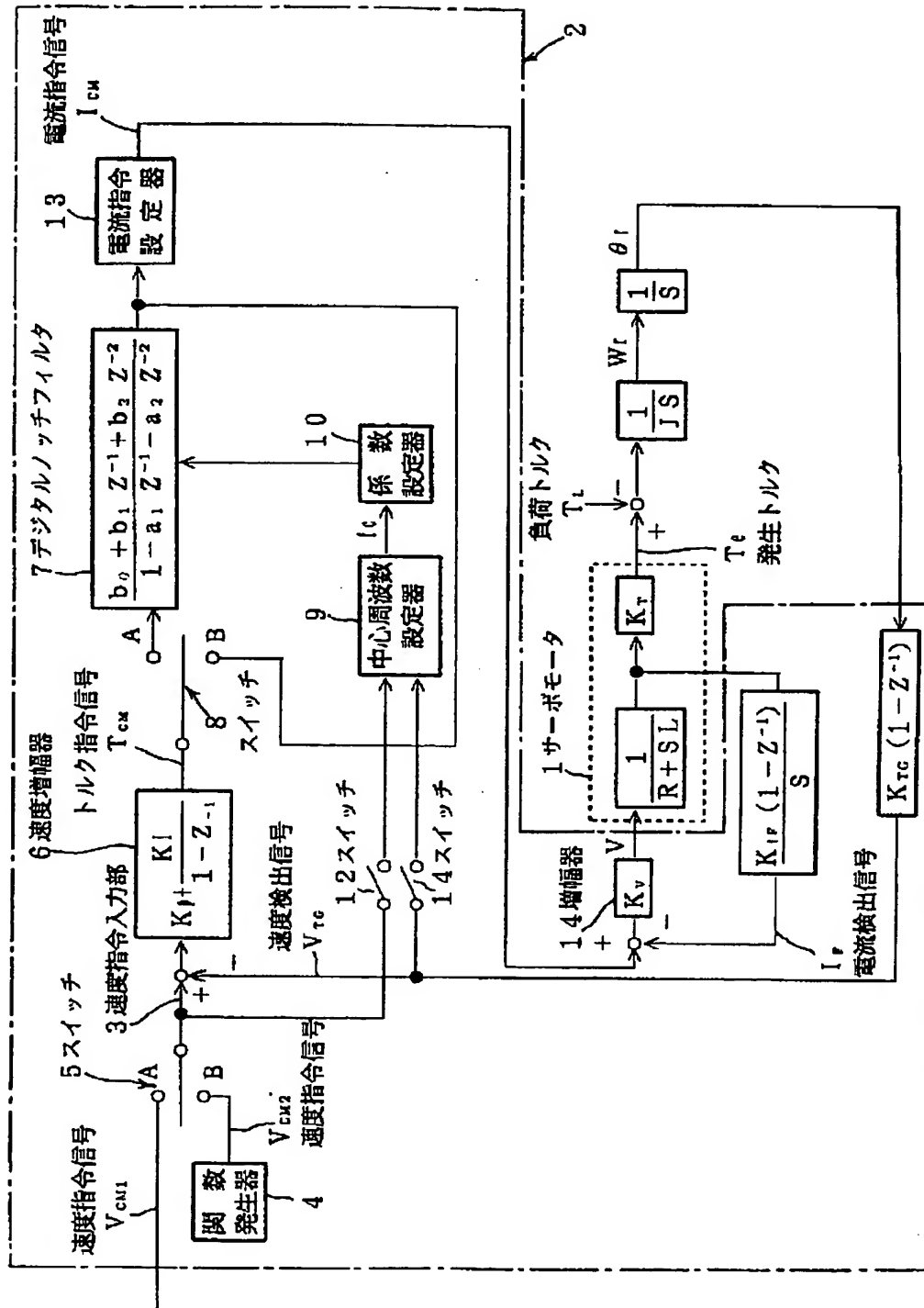
- 1 サーボモータ
- 2 サーボアンプ
- 3 速度指令入力部
- 4, 4' 関数発生器
- 5 スイッチ
- 6 速度増幅器
- 7 デジタルノッチフィルタ
- 8 スイッチ
- 9 中心周波数設定器
- 10 係数設定器
- 11, 12 スイッチ
- 13 電流指令設定器
- 14 増幅器
- 15, 16 スイッチ

【図9】



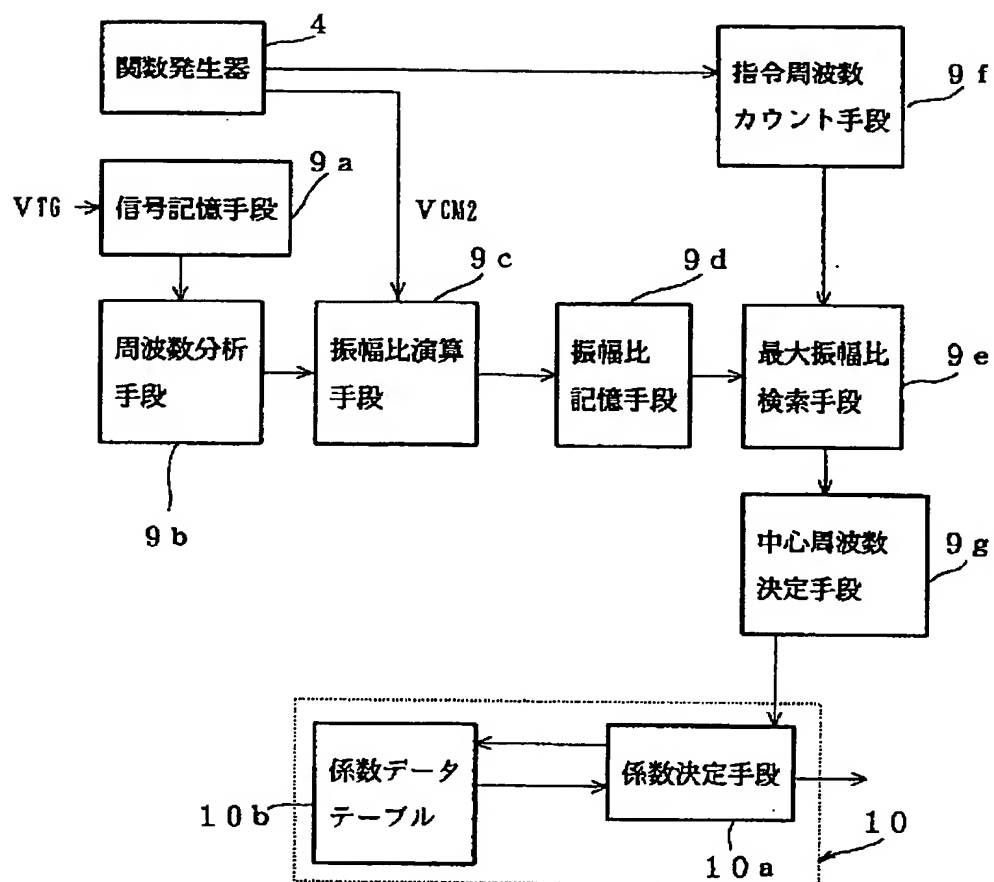
(11)

【図1】



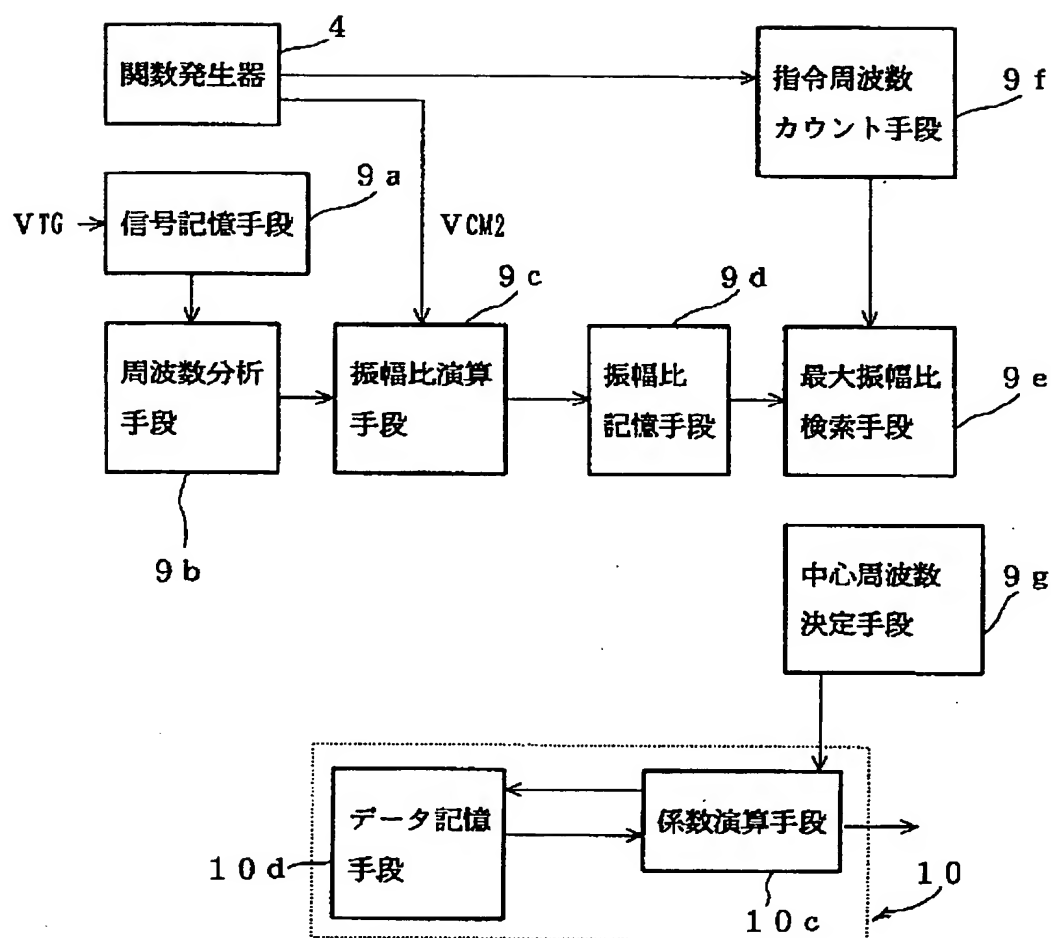
(12)

【図2】



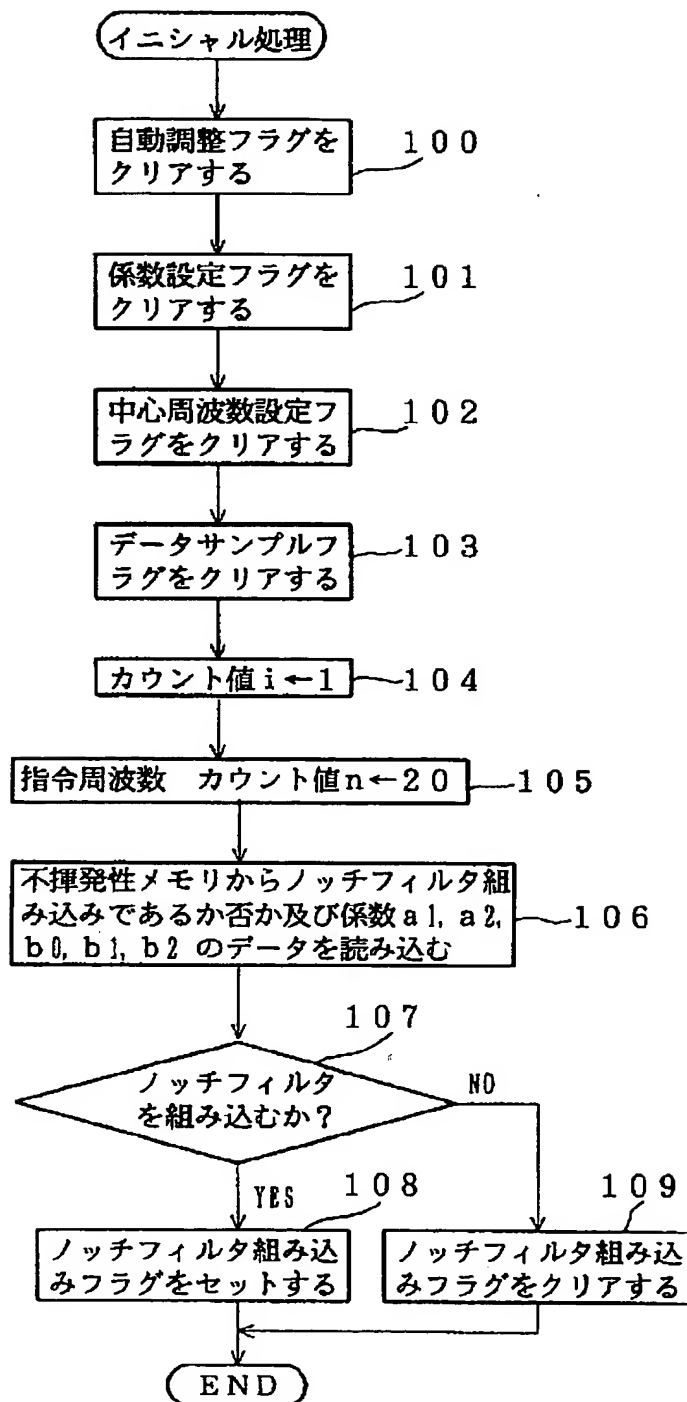
(13)

【図3】



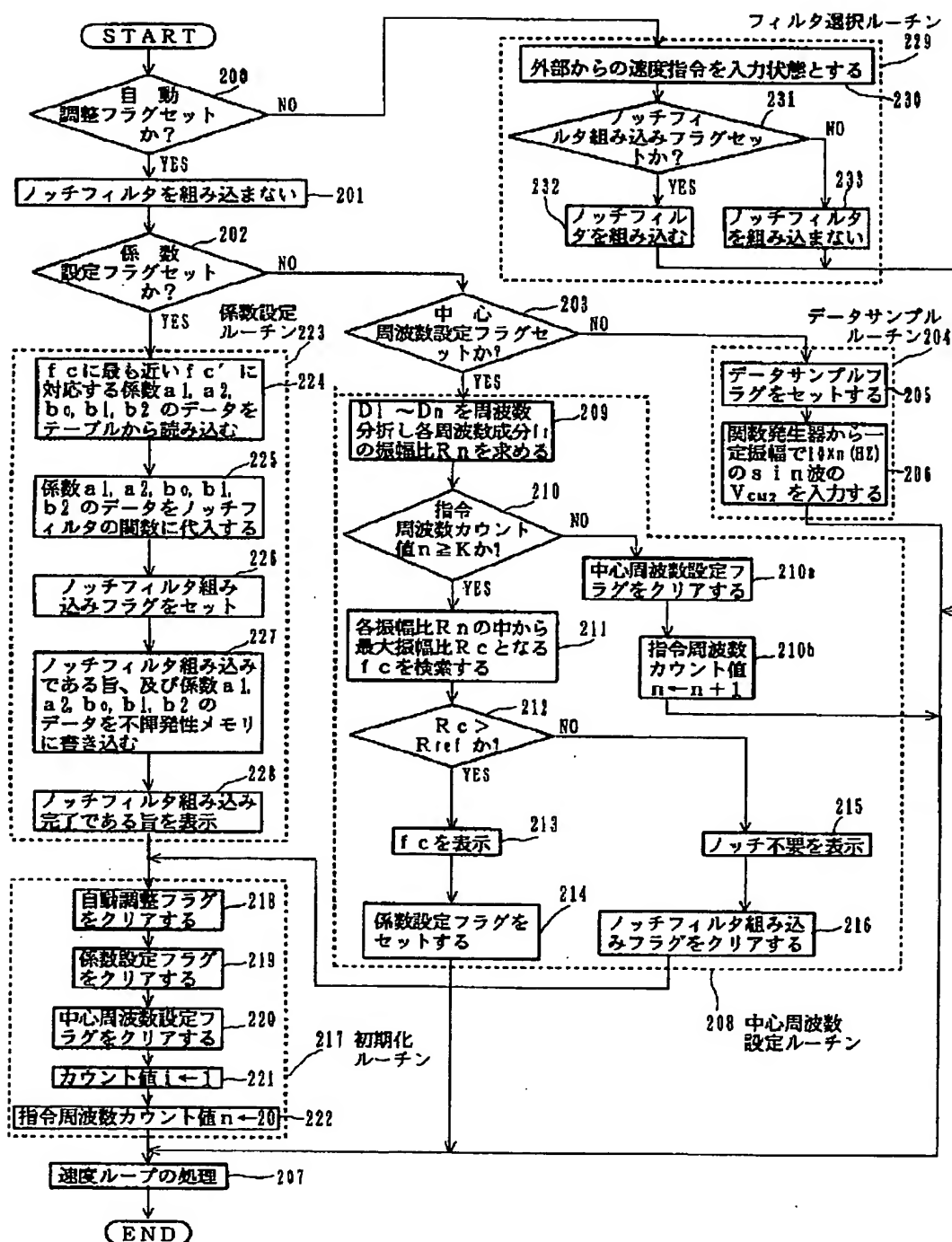
(14)

【図4】



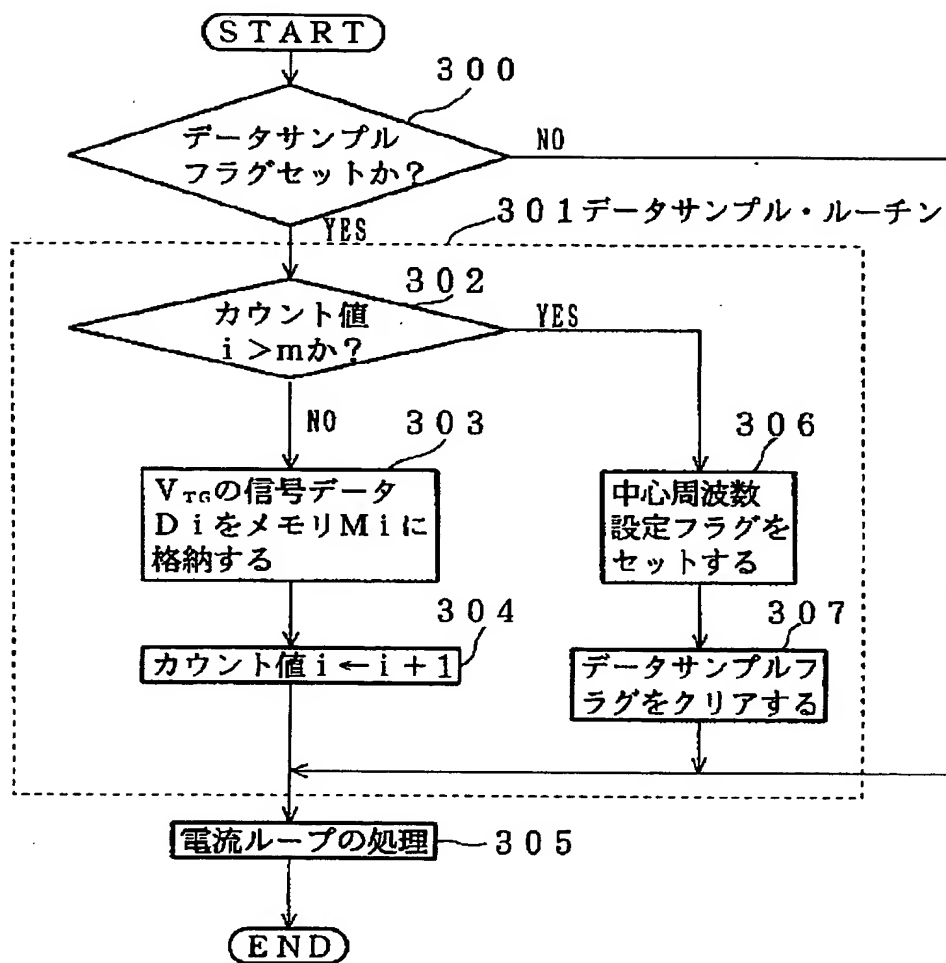
(15)

【図5】



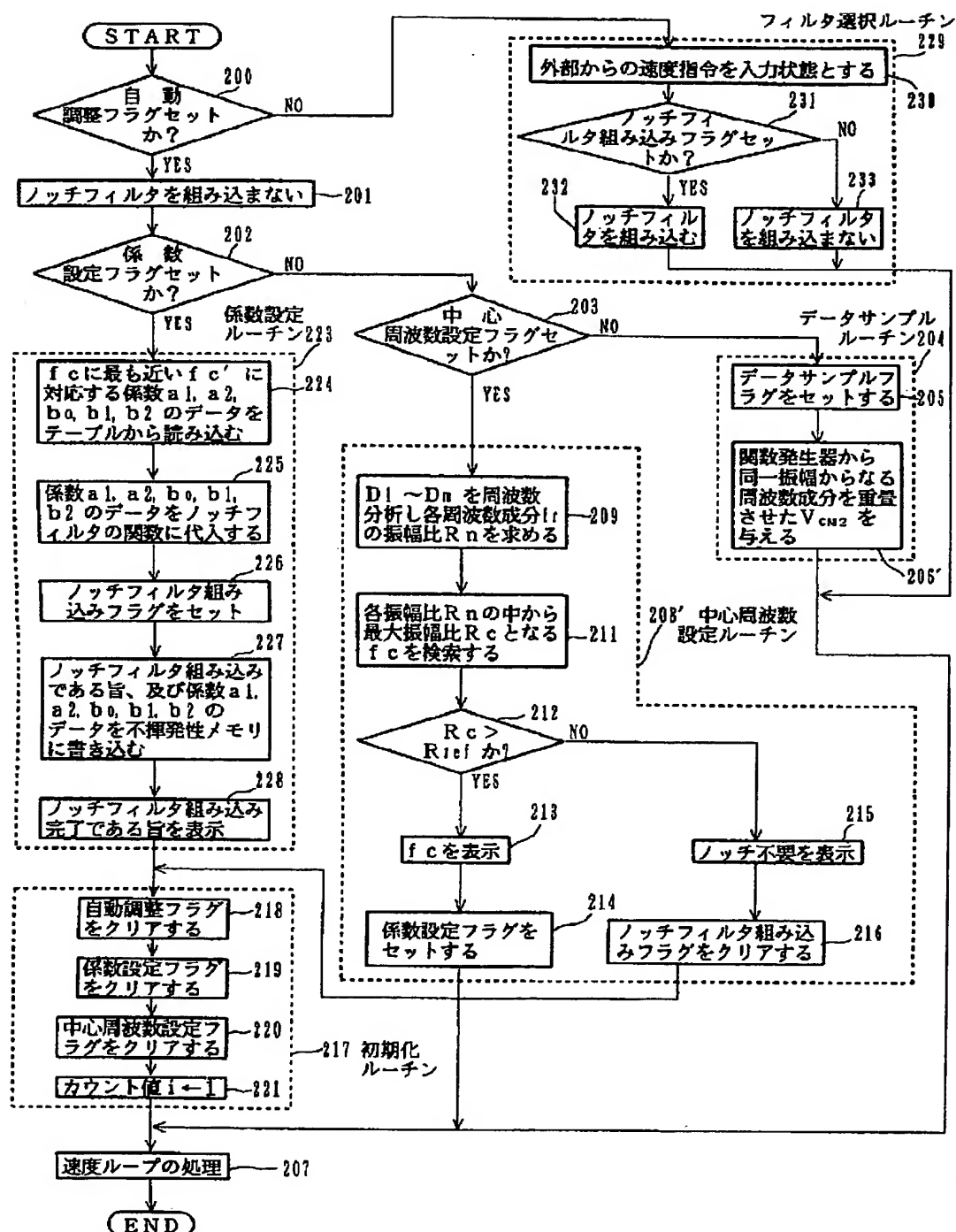
(16)

【図6】



(17)

【図7】



(18)

【図8】

